



# エージェントシミュレーションを用いた「価格規制」と「ネイキッド・ショート・セリングの禁止」の有効性の検証\*

大井 朋子<sup>†</sup>

## 概要

本研究ではエージェントシミュレーション手法を用いて、空売り規制の効果に関し定量的な分析を行った。我が国の現行の空売り規制のうち2つの措置（価格規制、ネイキッド・ショート・セリングの禁止）をモデル化し、その有効性について規制のある市場とない市場で比較検証を行った。本モデルは株式の売り買いだけでなく、エージェント間に貸株・借株の取引を導入している。シミュレーションでは各市場において、価格変動の特徴や期待価格との乖離、価格のボラティリティについて計測した。また、2種類の外生的ショックが与えられた時に、規制による市場の頑健性効果について考察を行った。その結果、多くの先行研究と同様に、規制を導入することで規制のない市場よりも市場のリスクは低下するが、価格が過大評価になる傾向があることがわかった。

We evaluate the effectiveness of the short selling constraints by employing an agent-based simulation to model investors' behavior in the stock market. We focus on two of the four regulatory measures on short-selling in Japan: "uptick rule requirement" and "naked short-selling ban." The unique feature of our model is the stock lending and borrowing transactions between traders. The lending/borrowing fee is modeled to influence the investment decisions of the traders. We calculate the price fluctuation, the divergence of the price from the fundamental value and the price volatility for each simulated market. We evaluate robustness of the markets by giving two exogenous shocks to the markets. As a result, we find that the regulatory measures make the market more stable and robust against such abrupt shocks. On the other hand, market tends to be overvalued by the introduction of those regulatory measures.

キーワード: 空売り規制、ネイキッド・ショート・セリング、価格規制、エージェントシミュレーション

JEL 分類コード: C63; G18

\*本稿の執筆にあたり、金融庁総務企画局市場課の皆様には資料の提供及び筆者の度重なる問い合わせに快く応じて頂いた。また、Makram El-Shagi 氏、中島淳一氏、中村友哉氏、古澤知之氏、吉野直行氏、人工知能学会ファイナンスにおける人工知能応用研究会の参加者諸氏から非常に有益なコメントを頂いた。本論文の審査においても、匿名の査読者、編集委員会から多くの重要なご指摘を頂いた。皆様に深く感謝を申し上げます。なお、本研究は筆者の個人的な見解を示すものであり、金融庁及び金融研究センターの公式見解ではない。

<sup>†</sup>金融庁金融研究センター tomoko.ooi@fsa.go.jp

# 1 はじめに

空売り及び空売り規制の是非については、規制当局、市場関係者、研究者からも賛否の両論がある。空売りは投機的な取引であり、価格の下落を加速させるという否定的な考えがある一方で、市場に対して流動性を供給する役割を持つという肯定的な意見もある。同様に規制の導入に対しても、市場の流動性の低下や価格形成の歪みを引き起こすといった批判があり、それに対して投機的な行為や相場操縦などの公正な価格形成の歪みを防止するといった声もある。既往の理論研究や実証研究においても、空売り及びその規制に対して多くの見解があり統一された答えは出ていない。そこで、本研究ではエージェントシミュレーション手法を用いて、空売り規制の効果に対し定量的な分析を行った。本手法を用いることにより、実証研究から得られた結果の検証だけでなく、規制導入のタイミングや期間、規制種別やそれらの組み合わせ、市場環境の違い等、複数のシナリオに対してシミュレーションを実施することで、様々な条件下における施策の評価が可能となる。本研究では、我が国の現行の空売り規制のうち、2つの施策について、それぞれ導入した場合と導入していない場合の各市場において、価格変動の特徴や期待価格との乖離、価格のボラティリティ、空売り注文量について計測した。また、外生的ショック（期待価格の急な下落、極端に安い指値注文によるショック）が与えられた時に、規制による市場への影響について考察を行った。

## 1.1 日本の空売り規制

わが国では株式の空売りについて、現行以下の4つの施策のうち恒久的措置として1、2が導入されている他、先般の金融危機における諸外国の動向も踏まえ、3及び4が時限的措置として導入されている。

本研究では、2のアップティックルールと呼ばれる価格規制、3のネイキッド・ショート・セリングの禁止の2つの施策を検証の対象とした。

1. 取引者等への明示・確認義務
2. 価格規制（取引所が直前に公表した価格以下での空売りの禁止）
3. 売付けの際に株の手当てがなされていない空売り（ネイキッド・ショート・セリング）の禁止
4. 空売りポジションの報告・公表義務

日本の空売り制度に関して、実証分析により次のような指摘がある。宇野ら [2] は、東京証券取引所一部上場銘柄の複数の貸株市場関連データを用いて、株券貸借市場の流動性について分析を行なっている。その結果、貸株市場参加者の取引行動は空売り規制の影響を受けており、規制強化が貸株市場に連動する株式売買市場の流動性がさらに低迷する要因となる可能性を指摘している。大塚 [3] は、東京証券取引所市場におけるイントラデイ・データを用いて価格規制が空売りに与える影響について分析を行なっている。現行の価格規制は、板が下向きの状況時には価格規制はその意図した目的に適っていると評価できるが、板が上向きの状況時に空売りを過剰に制約しているだけでなく、板状況にかかわらず市場の価格形成を阻害している可能性があるという指摘している。

## 1.2 エージェントシミュレーションによる空売り規制に関する先行研究

エージェントシミュレーションとは、システムを構成するエージェントの行動をモデル化し、それらのマイクロな相互作用からシステムのマクロ的挙動を分析する手法である(図1)。金融市場への応用研究では、既存の経済理論では説明が困難であるとされていた市場現象のメカニズムの解明に成果を上げている[1]。その他に、効率的市場仮説をはじめとする経済理論や為替介入等の政策効果の検証や、意思決定、投資戦略の支援や投資教育ツールにも応用されている。



図1: エージェントシミュレーションによる金融市場

エージェントシミュレーションによる空売りや空売り規制の研究は多数報告されている[4-9]。その中でも、保有していない株式を売ることができないという完全に空売りを禁止した単純なルールをモデル化したものが多い。最近では価格規制をはじめとした個々の施策を分析対象とした研究も報告されている[6,7]。

八木ら[4,5]は、ファンダメンタルエージェントモデルにより人工市場を構築し、空売り規制の有効性の検証を行っている。その結果、規制は価格の下落を抑制する効果がある一方、長期に渡って規制を続けると、バブルを形成し、市場を不安定にすることを示した。また、水田[6]らは、人工市場モデルにより、完全空売り規制やアップティックルール(価格規制)の効果を検証し、規制がある場合、バブル崩壊時には価格がファンダメンタル価格よりも下落せず市場が効率的になる一方で、平常時には割高な価格でしか取引されないというマイナス面があることが示した。Witteら[7]は、ファンダメンタリスト、チャートストからなるマルチエージェントモデルを用いて完全空売り規制と価格規制のそれぞれについてシミュレーションを行い、規制下ではネガティブな予測が価格に反映されず、価格はファンダメンタルバリュースに対して過大評価になる傾向があるが、規制下では市場リスクは減少することを示した。このように、シミュレーションによる研究においても、空売り規制は価格の下落を抑制する効果があるが、規制により価格が過大評価になる傾向があるという多くの実証研究と同様の結果を示している。

### 1.3 本研究の目的

本研究では、エージェントシミュレーションを用いて価格規制とネイキッド・ショート・セリングの禁止規制の有効性を検証する。既往のシミュレーションによる空売り規制の研究では完全空売り規制をモデル化しているものがほとんどであるのに対し、本モデルでは手当のない空売りの禁止について検証するため、エージェント間に貸株、借株の取引を導入した。また、空売り規制について各施策、措置を個別に検証している研究が多い中、本研究では価格規制とネイキッド・ショート・セリングの禁止の2つの施策を同時に導入した場合の市場について、規制のない市場や1つの施策のみを導入した市場とを比較しながらの検証も行なっている。

## 2 モデル

本研究では取引対象とする資産（株式）に対して市場に「期待価格」が存在すると仮定し、資産の価格と理論価格の変動、両者の連動性や乖離を観測することによって、エージェントの投資行動や規制の導入の影響を分析を行う。そこで、1.2節で示した先行研究[4-8]のモデルと同様、取引の判断基準となる価格を参照、推定して取引するトレーダー、過去の価格変動から現在の価格を予測するトレーダーを市場参加者（エージェント）としたモデルを構築した。本研究の初期のモデルでは、株価に対してファンダメンタルバリューがあると仮定し、その値を参照して取引を行うトレーダーをファンダメンタリストとして定義していた[10,11]。しかし、ファンダメンタルバリューが過去の価格時系列に依存した式で表現されており、本来の意味と相違があると指摘があった<sup>1</sup>。そのため、本稿ではファンダメンタルバリュー、ファンダメンタリストをそれぞれ期待価格、アービトラージャーとして新たに定義し直した。それにより、本モデルにはファンダメンタルバリューが存在しないという問題も指摘されている<sup>2</sup>。しかし、本研究では期待価格をエージェントの参照価格とすることで、その値とシミュレーション価格との乖離を計測し分析を行った。このモデルを用いて、空売り規制の2つの施策に対し規制下にある市場とない市場を設定し、それぞれの市場を比較することで規制の効果を検証した。

本モデルの特徴は、株の手当てがなされていない空売りの禁止について検証するため、エージェント間に株式の売買の他に、貸株、借株の取引を導入した点である。そのためエージェントは売り買いの投資判断の他に、手数料を考慮した貸株、借株の判断を行う投資戦略を設定している。

### 2.1 エージェント

本モデルのエージェント（市場参加者）は投資戦略の違いにより、アービトラージャー、テクニカルトレーダー、ノイズトレーダーの3つに分類される。それぞれのエージェントの投資判断を以下で説明する。

<sup>1</sup>FSA リサーチレビュー編集委員会よりご指摘を頂いた。また、同編集委員である佐々木百合氏よりこの件に関してコメントを頂いている。

<sup>2</sup>WEAI 10th Biennial Pacific Rim Conference にて Makram El-Shagi 氏よりご指摘を頂いた。

### 2.1.1 アービトラージャー

アービトラージャーは取引する株式に市場参加者全体の「期待価格」が市場に存在すると仮定し、取引を行うトレーダーである。本モデルでは期待価格を次のようにモデル化した。期待価格 ( $EP_t$ ) は、市場参加者は直近の情報（価格）に最も強く影響を受けて株式の価値を評価すると想定し、市場参加者による価格のアンカリング効果 [12] を反映している。 $t$  期のシミュレーション価格  $P_t$ 、 $t$  期のシミュレーション価格の  $M$  期間加重移動平均を  $WMA_{M,t}$ 、ランダム項を  $b_t \sim N(0, 1)$  とし、 $t$  期の期待価格は、

$$EP_t = aP_{t-1} + (1 - a)WMA_{M,t-1} + b_t$$

とする。

加重移動平均  $WMA_t$  は、現在より直前の期の価格の重みを  $M$  とし、次の期の重みを  $M-1$  のように重みを 1 ずつ減衰させ

$$WMA_{M,t-1} = \frac{MP_{t-1} + (M-1)P_{t-2} + \dots + P_{t-M}}{1 + 2 + \dots + M}$$

とする

各アービトラージャーは、各自で  $t$  期の期待価格 ( $EP_{i,t}$ ) の推定を行い、その値と直近 ( $t-1$  期) のシミュレーション価格 ( $P_{t-1}$ ) との差を裁定機会と捉え、その価格差から利益を得ることを狙うトレーダーである。

アービトラージャー  $i$  の  $t$  期の期待価格の推定値は、

$$EP_{i,t} = EP_t + \epsilon_{i,t}$$

$$\epsilon_{i,t} \sim N(0, |EP_{i,t-1} - EP_{i,t-2}|/2)$$

とする。

また、各自が投資判断閾値を持ち、 $t$  期のアービトラージャー  $i$  の判断閾値を  $\alpha_{i,t}$  とする。アービトラージャーは期待価格の推定値  $EP_{i,t}$  を指値  $LP_{i,t}$  とした指値注文のみを行い、注文量  $TV_{i,t}$  は期待価格の推定値と現在価格の差と比例する。2つの値の乖離が大きくなれば、現在の価格が期待価格に対しより割安もしくは割高であると判断し注文量を増やす。アービトラージャー  $i$  の  $t$  期の投資行動を  $A_{i,t}$  とし、買いの時は  $A_{i,t} = 1$  を、売りの時は  $A_{i,t} = -1$  を示す。

アービトラージャー  $i$  の  $t$  期の投資判断は、

$$\begin{cases} EP_{i,t} - P_{t-1} > \alpha_{i,t} \\ EP_{i,t} - P_{t-1} < -\alpha_{i,t} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} A_{i,t} = 1 \\ LP_{s,t} = EP_{i,t} \\ TV_{i,t} = |EP_{i,t} - P_{i,t-1}| \alpha_{i,t} \\ A_{i,t} = -1 \\ LP_{i,t} = EP_{i,t} \\ TV_{i,t} = |EP_{i,t} - P_{i,t-1}| \alpha_{i,t} \end{cases}$$

$$(\alpha_{i,t} \sim N(0, |P_{t-1} - EP_{i,t}|/3))$$

である。

### 2.1.2 テクニカルトレーダー

テクニカルトレーダーは、過去のシミュレーション価格の時系列から現在の価格変動の方向を推測し、投資判断を行う。エージェント  $i$  は算出した  $n$  期間の  $t$  期の価格の移動平均  $MA_{i,t}$  と標準偏差  $SD_{i,t}$  の値から、 $t$  期の価格の変動を予測し売買を判断する。予測した価格（移動平均値  $MA_{i,t}$ ）を指値とした指値注文のみを行う。期間  $n$  はエージェントにより異なり、初期に 15 から 25 まで整数値の一様乱数で決定される。注文量  $TV_{i,t}$  は予測した価格と現在価格の差に比例する。2つの値の乖離が大きくなれば、現在の価格が予測した価格に対しより割安もしくは割高であると判断し注文量を増やす。

テクニカルトレーダーは順張り戦略と逆張り戦略の2種類の戦略を持つトレーダーを設定した。それぞれモメンタム・トレーダー、リバーサル・トレーダーとする。

テクニカルトレーダー  $i$  の  $t$  期の投資行動を  $A_{i,t}$ 、指値を  $LP_{i,t}$ 、注文量を  $TV_{i,t}$  とし、投資行動は買いの時  $A_{i,t} = 1$  を、売りの時  $A_{i,t} = -1$  を示す。

順張り戦略を持つモメンタム・トレーダー  $i$  の  $t$  期の投資判断は、

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{t-1} > MA_{i,t-1} + SD_{i,t-1} \\ P_{t-1} < MA_{i,t-1} - SD_{i,t-1} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A_{i,t} = 1 \\ LP_{s,t} = P_{t-1} + \beta_{i,t} \\ TV_{i,t} = |P_{t-1} - MA_{i,t-1}| \beta_{i,t} \\ A_{i,t} = -1 \\ LP_{s,t} = P_{t-1} - \beta_{i,t} \\ TV_{i,t} = |P_{t-1} - MA_{i,t-1}| \beta_{i,t} \end{array} \right.$$

$(\beta_{i,t} \sim N(0, SD_{i,t-1}/2), \beta_{i,t} \in \mathbb{N})$

である。逆張り戦略の場合（リバーサル・トレーダーの投資判断）はこの反対となる。

### 2.1.3 ノイズトレーダー

ノイズトレーダーは、全くランダムに投資判断を行い、成行注文のみを行う。ノイズトレーダーの投資判断は売買を同確率（1/2）で決定し、注文量は3から10までの整数値で一様乱数で決定される。

## 2.2 価格決定方式

シミュレーション価格は単一約定方式（板寄せ方式）により決定する。期毎に全てのエージェントの注文を纏め、約定する売り注文量と買い注文量が一致したところで単一の価格（シミュレーション価格）を決定し、取引を執行する。シミュレーションでの約定の手順は以下の通りである。

1. すべての成行注文を約定
2. シミュレーション価格より高い指値の買注文と安い売注文の全数が約定
3. 板寄せ時のシミュレーション価格と同一価格で対当する注文がなく、一方の指値注文が残っている場合には、全ての売買が成立
4. 1、2の条件を満たす価格が複数ある場合に1期前のシミュレーション価格に最も近い価格をシミュレーション価格とする

## 2.3 空売りと2つの空売り規制施策

本モデルでは、価格規制、空売りと買い戻し、貸株と借株について以下のように設定した。

### 2.3.1 価格規制

価格規制のルールは以下の通りである（図2）。

- 直近のシミュレーション価格未満での空売り注文の発注を禁止する
- 価格上昇時は、直近価格以上の指値で空売り注文を出す
- 価格下落時は、直近価格+1以上の指値で空売り注文を出す

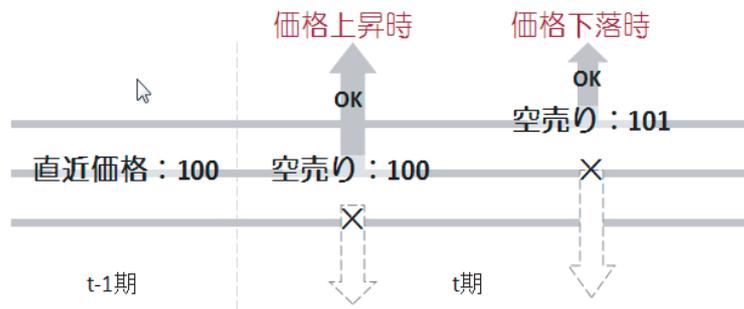


図 2: 価格規制

### 2.3.2 ネイキッド・ショート・セリングの禁止

ネイキッド・ショート・セリングが禁止された市場では、売りの判断をしたときに売り出す注文量の株を保有していなければ売り注文を出すことはできない。そのため、他のエージェントから株を借りてくる必要がある。以下に空売り、買い戻し、貸株、借株のモデル化について説明する。

#### 空売りと買い戻し

本モデルではエージェントが株を保有せずに売りの判断をした場合、ネイキッド・ショート・セリングが禁止されている市場では次のように借株を行う（図3）。エージェント間の株の貸借は個々のエージェントで紐付けされず、各期ごとに全エージェントから貸株可能な株を一度取りまとめ、その中から空売りするエージェントに配分される。株の返還においても、個々のエージェント間で株の返却は行われず、各期ごとに買い戻された株は一度取りまとめられ、貸株をしているエージェントに配分されて返還される。

1. エージェントが保有する株数よりも売り注文の注文量が多い場合は、その他のエージェントから株を借りる

2. 全エージェントの貸株の判断がされた株数の総和を貸株可能な数とし、空売りするエージェントに配分する
3. 貸株可能な株数よりも全エージェントの空売り注文数が多い場合は、各エージェントの空売り注文量により比例按分して株を貸す
4. 空売りしているエージェントが買い戻した場合、貸株は各エージェントの貸株している株数により比例按分して返却される

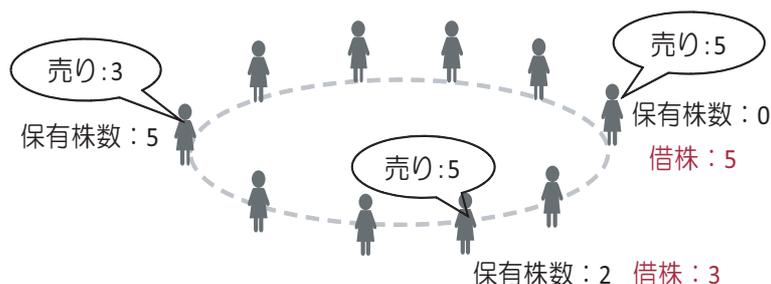


図 3: 借株・貸株

また、借株の返却は以下のように行われる（図 4）。

1. 貸株をしているエージェントが  $t$  期に保有する株数以上の売りの判断をした場合は買戻請求とみなし、 $t$  期に買い戻された株がなかったときは空売りしているエージェントに借株している株数により比例按分して買戻しを請求する
2. 返還請求をされたエージェントは、 $t+1$  期で株を買い戻すために買い注文を出さなければならない
3. 返還請求をしていたエージェントは、 $t+2$  期で買い戻された株から売り注文を出すことができる

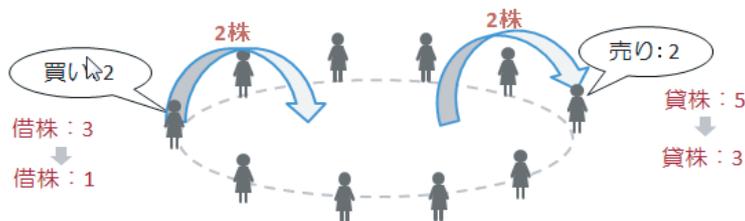


図 4: 借株の買い戻しと借株の返却

### 貸株借株の手数料とその判断

エージェントは株を借りる際に手数料を払わなければならない。一方で、貸株をしたエージェントは手数料を受け取ることができる。

貸株・借株の手数料は  $q_t P_{t-1}$  に定める。但し、価格相場で手数料は変動し、価格が上昇している場合は手数料が下がり、 $q_t = q - \sigma_t$ 、価格が下落しているときは手数料が

上がり,  $q_t = q + \sigma_t$  ( $\sigma_t \sim U(q_1, q_2)$ ) となる。エージェントの貸株/借株の条件は以下のとおりである。

#### アービトラージャー

アービトラージャーは空売り注文をする際に、2.1.1 節で示した通常の売りの判断条件の現在の価格に手数料を加えたものと期待価格との差分から借株の判断を行う。貸株の判断は現在の価格と期待価格との差と手数料を比較し、手数料が大きい時に貸株を行う。

$$\begin{aligned} \text{借株} \quad & F_{i,t} - (1 + q_t)P_{t-1} < -\alpha_{i,t} \\ \text{貸株} \quad & |P_{t-1} - F_{i,t}| < q_t P_{t-1} \end{aligned}$$

#### テクニカルトレーダー

テクニカルトレーダーは、2.1.2 節で示した通常の売りの判断条件の現在の価格に手数料を加えたものと予測した価格との差分から借株による空売りの判断を行う。貸株の判断は現在の価格と予測した価格との差と手数料を比較し、手数料が大きい時に貸株を行う。

$$\begin{aligned} \text{借株} \quad & (1 + q_t)P_{t-1} > -(MA_{i,t-1} + SD_{i,t-1}) \\ \text{貸株} \quad & |P_{t-1} - MA_{i,t}| < q_t P_{t-1} \end{aligned}$$

#### ノイズトレーダー

手数料を考慮せず、貸株借株を行う。

### 2.3.3 外生的ショック

#### 期待価格の急激な低下

外生的ショックとして急激に期待価格の低下した場合を以下のように設定した。金融危機などにより期待価格が極端に下落した場合を想定し、 $s_1$  期から  $m$  期間の間、期待価格を  $s_1 - 1$  期の価格の  $r_1\%$  になるように設定した。

$$F_t = \frac{r_1}{100} P_{s_1-1}, \quad t = [s_1, s_1 + m - 1]$$

$s_1 + m$  期目に期待価格は下落前の  $s_1 - 1$  期の価格を基準とした期待価格に戻る。

$$F_{s_1+m} = aP_{s_1-1} + (1 - a)WMA_{M,s_1+m} + b_{s_1+m}$$

#### 極端に安い指値の売り注文

$s_2$  期目に  $s_2 - 1$  期目の価格の  $r_2\%$  の指値の売り注文を全エージェントの注文量の  $w\%$  の注文数で入れる

## 3 シミュレーション

規制のない市場、価格規制のある市場、ネイキッド・ショート・セリングが禁止された市場、2つの施策が同時に導入された市場について、それぞれ同じ設定でシミュレーションを行った。各市場の価格変動、期待価格との乖離、ボラティリティと空売り注文量の比較した結果を示す。

価格変動の特徴を示した図は、シミュレーション各試行から 3000 回目以降の取引から無作為に選び出した 1000 取引を抜き出したものである。同様にショック時の価格変動を示した図も 1000 回の試行から無作為に選び出した 1 試行からショック前後の取引を抜き出したものである。

### 3.1 シミュレーション設定

エージェントの構成は、アービトラージャーが 200、テクニカルトレーダー 200 (モメンタム・トレーダー 100、リバーサル・トレーダー 100)、ノイズトレーダー 200 という 1 パターンのみで行った。初期価格、初期の期待価格はともに 1000 とし、全エージェントの初期資産は株数 1000、キャッシュ 10000 から取引を開始する。以上の設定で 1 試行に 10000 取引 (1000 期) を行い 1000 回の試行を行った。

各変数の値は、以下の表 1 の通りである。

変数	値	説明
$a$	0.1	期待価格算出に対する直近価格の比重
$M$	15	期待価格算出に対する加重移動平均の計測期間
$q$	0.001	貸株借株手数料の基準値
$q_1$	0.001	貸株借株手数料のランダム項下限
$q_2$	0.003	貸株借株手数料のランダム項上限
$s_1$	5000	期待価格下落の開始期
$r_1$	80	期待価格下落率
$m$	20	期待価格下落期間
$s_2$	5000	指値注文によるショックが起こる期
$r_2$	80	直前の価格に対する指値の割合
$w$	20	ショック時の全注文量に対する指値注文量の割合

表 1: 変数の値とその説明

### 3.2 規制のない市場

2.3.1、2.3.2 で述べた設定による制約はなく、制限なく空売り注文、売買注文を出すことができる市場でのシミュレーション結果を示す。

#### 3.2.1 価格変動

図 5 は規制のない市場でのシミュレーション価格の変動 (10000 取引中の途中 1000 取引を抜粋) を示している。

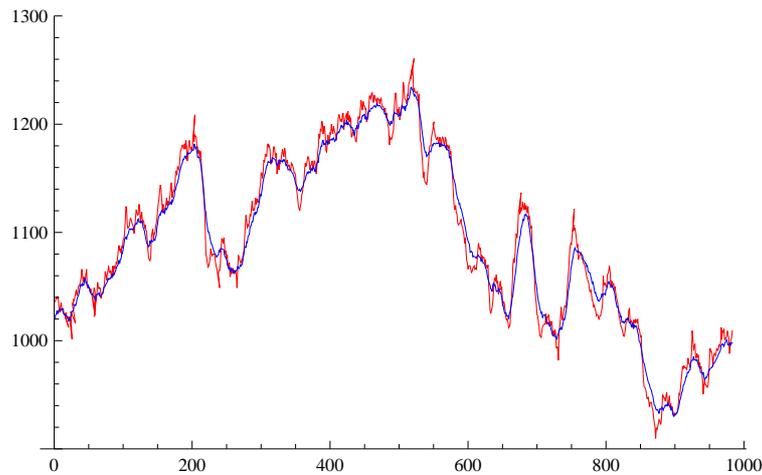


図 5: 規制のない市場での価格変動 (赤線:シミュレーション価格, 青線:期待価格, 縦軸:価格, 横軸:取引回)

価格変動のピーク時にシミュレーション価格が期待価格を大きく上回る (下回る) ことが多く、シミュレーション価格は過大評価、過小評価となる傾向が見られる。

### 3.2.2 期待価格との乖離

図 6 は期待価格とシミュレーション価格の差 (10000 取引中の途中 1000 取引を抜粋) を、図 7 は価格の乖離  $((\text{シミュレーション価格}-\text{期待価格}) / \text{シミュレーション価格})$  の分布を示している。期待価格とシミュレーション価格の乖離は差分、その頻度ともに、正負のどちらかに大きく偏ることなく同程度に見られる。

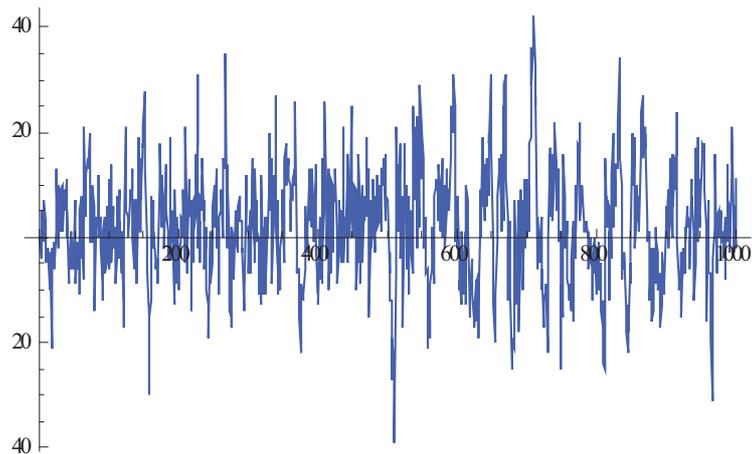


図 6: 規制のない市場でのシミュレーション価格と期待価格との乖離 (シミュレーション価格-期待価格) (縦軸:価格差, 横軸:取引回)

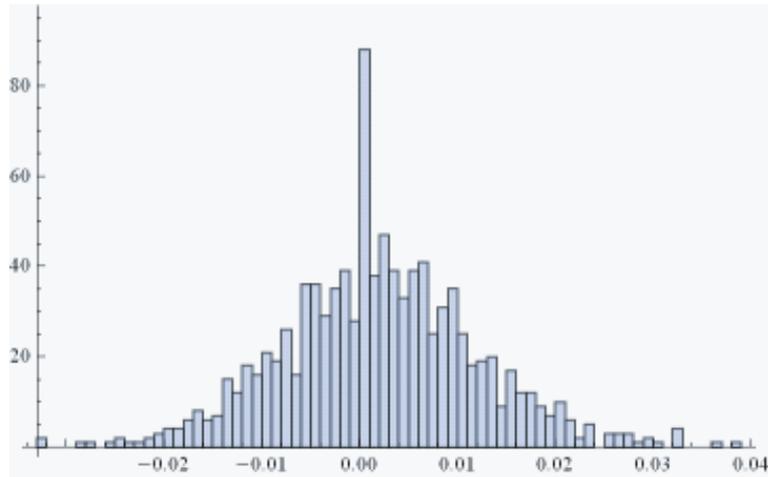


図 7: 規制のない市場での乖離の頻度分布 (縦軸:頻度, 横軸:(シミュレーション価格-期待価格) / シミュレーション価格)

### 3.2.3 期待価格下落時の価格変動

図 8 は、2.3.3 の設定で期待価格が急激に下落したときの価格変動を示している。

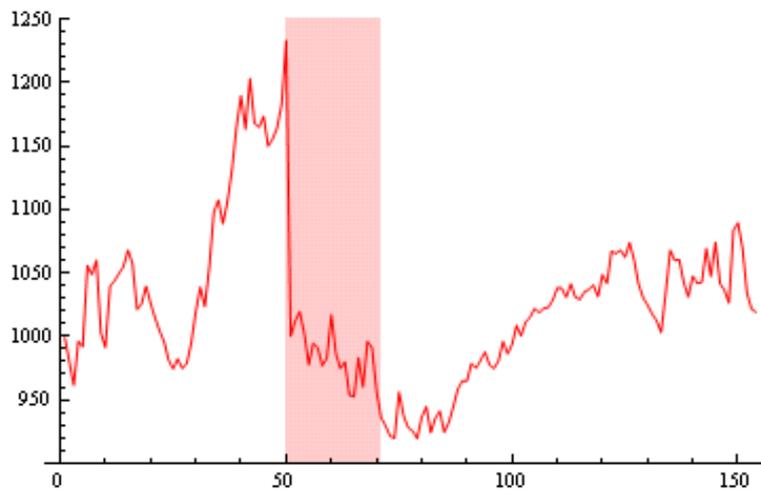


図 8: 規制のない市場での期待価格下落時の価格変動 (縦軸:価格, 横軸:取引回, 赤帯: 期待価格下落期間)

シミュレーション価格は、期待価格の急激な下落に即座に反応し、大きく下落する。また一度大きく下落すると期待価格の回復後も 20 期間ほど価格が低い水準のまま変動する。

### 3.2.4 指値注文によるショック時の価格変動

図 9 は、2.3.3 の設定で極端に安い指値注文によるショック時の価格変動を示している。

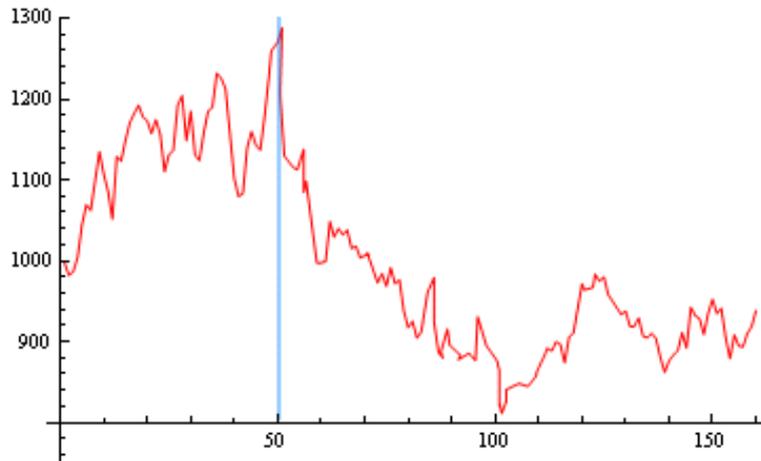


図 9: 規制のない市場での指値注文によるショック時の価格変動（赤線:シミュレーション価格, 青縦線:指値注文によるショック, 縦軸:価格, 横軸:取引回）

シミュレーション価格は、期待価格の下落によるショック時と同様に、極端に安い指値注文に即座に反応し大きく下落する。大きな下落の後も 30 から 50 期ほどの長い期間に亘り、価格が低い状態が続く。

### 3.3 価格規制のある市場

2.3.1 の価格規制の設定のもとで取引を行った市場のシミュレーション結果を示す。

#### 3.3.1 価格変動

図 10 はシミュレーション価格の変動 (10000 取引中の途中 1000 取引を抜粋) を示している。規制のない市場に比べて、全体的に期待価格からの大きな乖離は減少した。価格上昇のピーク時に、シミュレーション価格は期待価格に対して過大評価になりやすいものの、下落時の過小評価が起りにくくなるのがわかる。

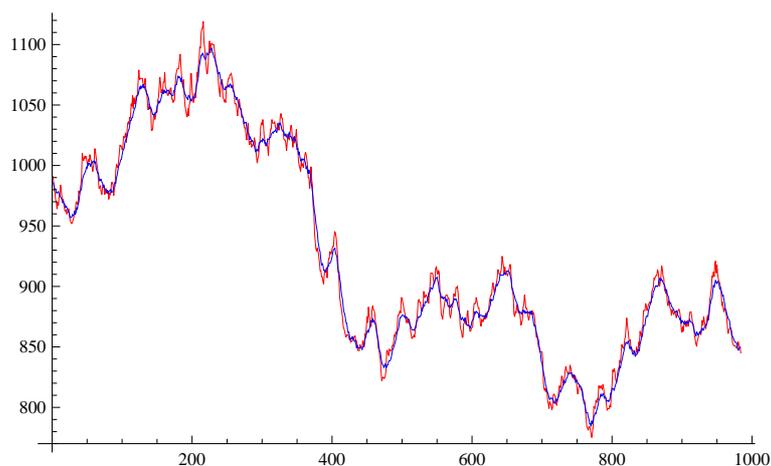


図 10: 価格規制のある市場での価格変動 (赤線:シミュレーション価格, 青線:期待価格, 縦軸:価格, 横軸:取引回)

### 3.3.2 期待価格との乖離

図 11 は期待価格とシミュレーション価格の差 (10000 取引中の途中 1000 取引を抜粋) を、図 12 は価格の乖離 ((シミュレーション価格-期待価格) / シミュレーション価格) の分布を示している。期待価格とシミュレーション価格の乖離はやや正の方向に偏る (シミュレーション価格 > 期待価格) 傾向にある。

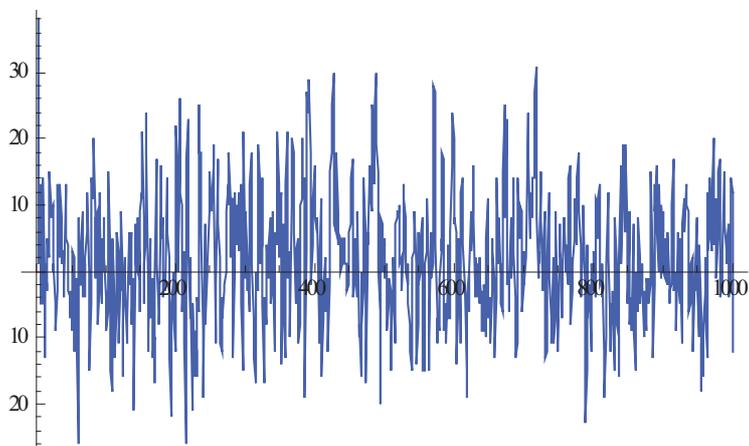


図 11: 価格規制のある市場でのシミュレーション価格と期待価格との乖離 (シミュレーション価格-期待価格) (縦軸:価格差, 横軸:取引回)

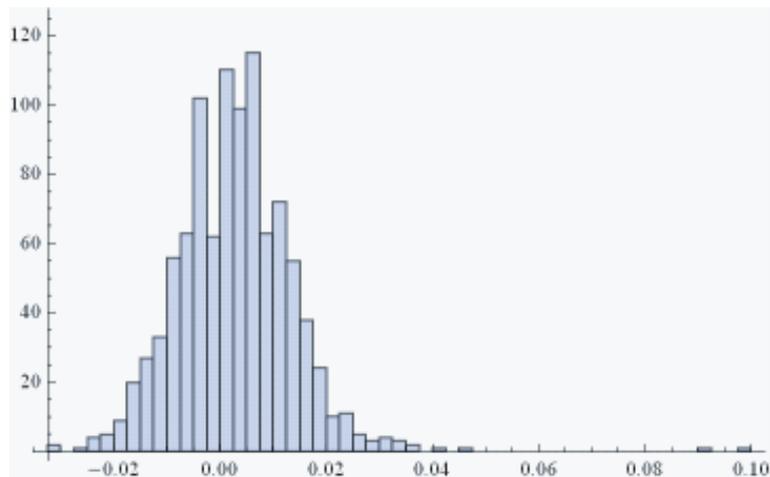


図 12: 価格規制のある市場での乖離の頻度分布 (縦軸:頻度, 横軸:(シミュレーション価格-期待価格)／シミュレーション価格)

### 3.3.3 期待価格下落時の価格変動

図 13 は 2.3.3 の設定で期待価格が急激に下落したときの価格変動を示している。

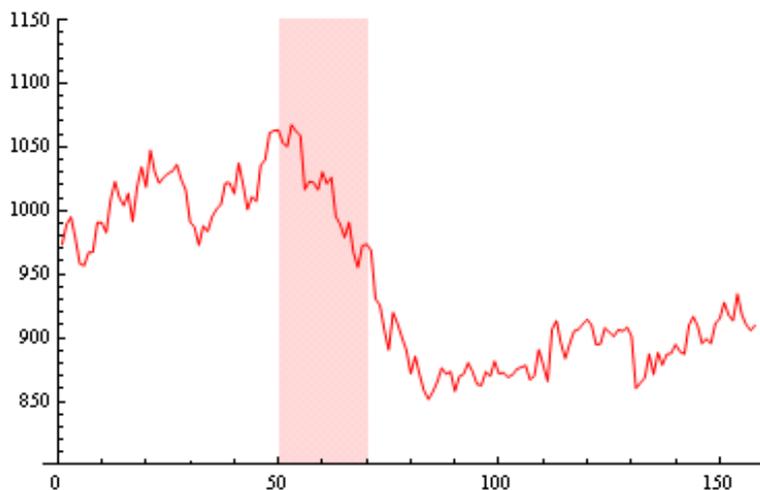


図 13: 価格規制のある市場での期待価格下落時の価格変動 (縦軸:シミュレーション価格, 横軸:取引回, 赤帯: 期待価格下落期間)

規制のない市場と比較し、期待価格の急激な下落に対するシミュレーション価格の暴落は見られない。しかし、シミュレーション価格は期待価格の下落期間に緩やかに下がり続け、下落期間後もショック前の価格より 10%下落した水準の価格が 20 期間続くことが多く、ショックの影響が長い期間に亘る傾向がある。

### 3.3.4 指値注文によるショック時の価格変動

図 14 は、2.3.3 の設定で極端に安い指値注文によるショック時の価格変動を示している。

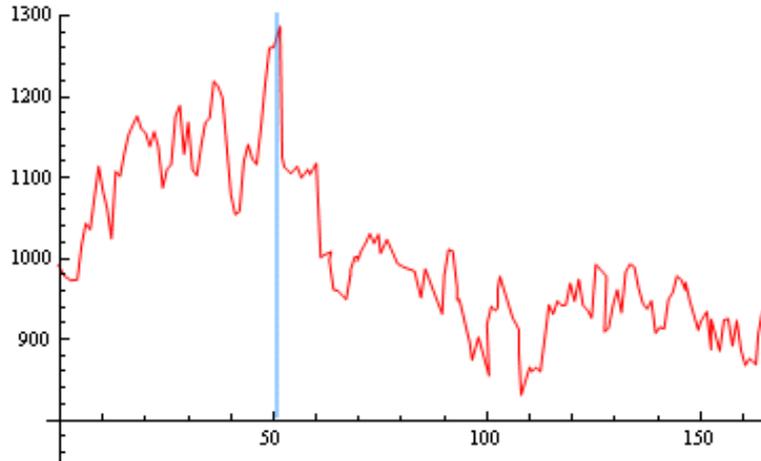


図 14: 価格規制のある市場での指値注文によるショック時の価格変動 (赤線:シミュレーション価格, 青縦線:指値注文によるショック, 縦軸:価格, 横軸:取引回)

シミュレーション価格は、ショック直後に一度反応し大きく下落することが見られた。また一度大きく下落すると緩やかではあるが 20 期間に亘り価格が下がり続ける傾向にある。

## 3.4 ネイキッド・ショート・セリングが禁止された市場

2.3.2 のネイキッド・ショート・セリングを禁止した設定下で取引を行った市場のシミュレーション結果を示す。

### 3.4.1 価格変動

図 15 はシミュレーション価格の変動 (10000 取引中の途中 1000 取引を抜粋) を示している。他の 2 つの市場と比較し、価格下落時は期待価格を下回る傾向が弱まり、全体的にシミュレーション価格が期待価格を上回る傾向がある。

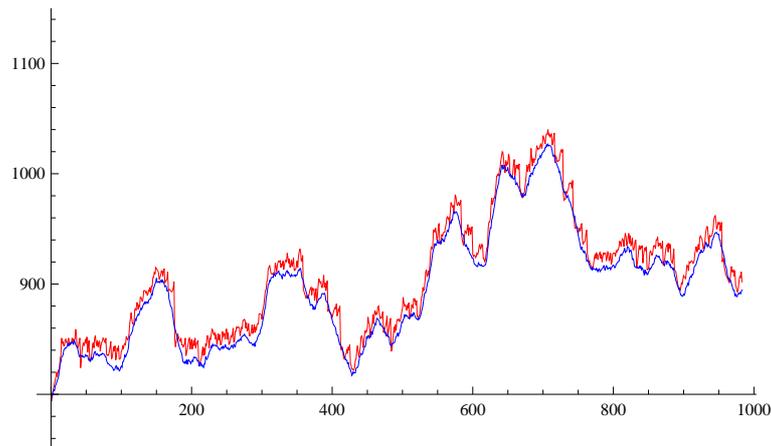


図 15: ネイキッド・ショート・セリングが禁止された市場での価格変動 (赤線:シミュレーション価格, 青線:期待価格, 縦軸:価格, 横軸:取引回)

### 3.4.2 期待価格との乖離

図 16 は期待価格とシミュレーション価格の差 (10000 取引中の途中 1000 取引を抜粋) を、図 17 は価格の乖離  $((\text{シミュレーション価格}-\text{期待価格}) / \text{シミュレーション価格})$  の分布を示している。期待価格とシミュレーション価格の乖離は正の方向に大きく偏る傾向にあり、シミュレーション価格は過大評価になりやすいことがわかる。

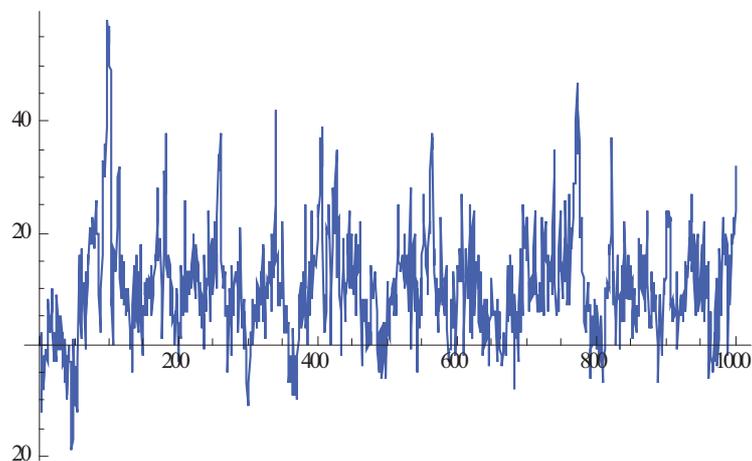


図 16: ネイキッド・ショート・セリングが禁止された市場でのシミュレーション価格と期待価格との乖離 (シミュレーション価格-期待価格) (縦軸:価格差, 横軸:取引回)

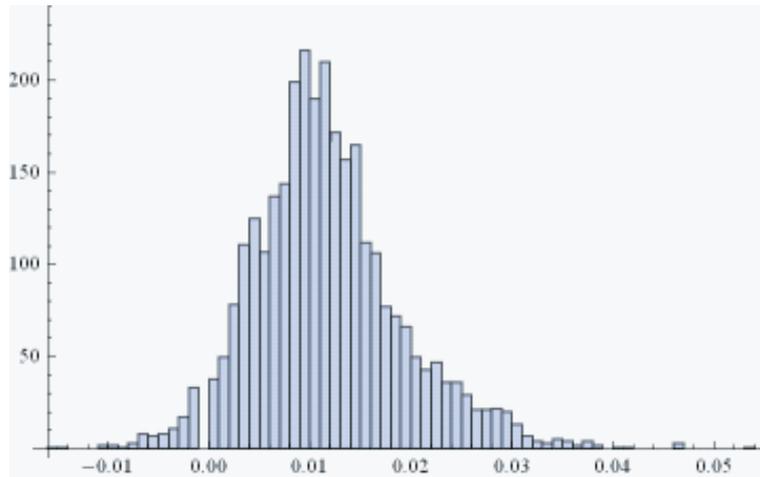


図 17: ネイキッド・ショート・セリングが禁止された市場での乖離の頻度分布（縦軸:頻度, 横軸:(シミュレーション価格-期待価格)／シミュレーション価格）

### 3.4.3 期待価格下落時の価格変動

図 18 は、2.3.3 の設定で期待価格が急激に下落したときの価格変動を示している。期待価格の急激な下落に対してシミュレーション価格の反応はやや鈍く、ショック直後より遅れてシミュレーション価格の大きな下落が見られた。しかし、期待価格の下落期間後はショック前の価格の 10%以上下落した価格が 10 期間以上続くことは少なく、下落期間後 20 期を超えると期待価格の水準に戻ることも多く見られた。

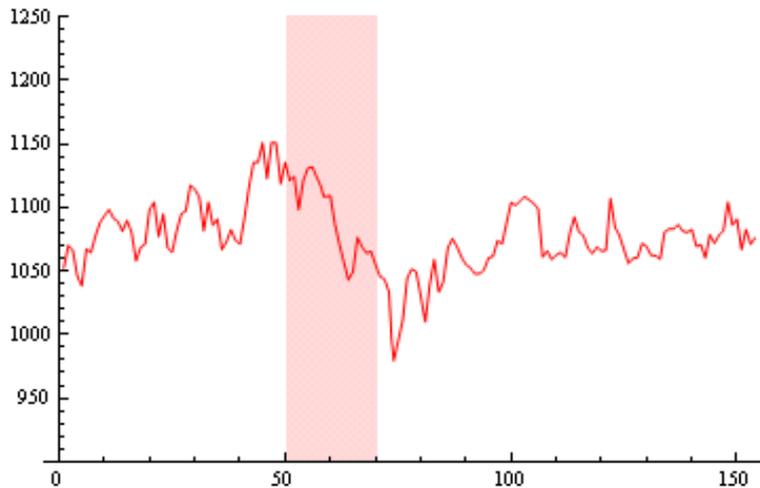


図 18: ネイキッド・ショート・セリングが禁止された市場での期待価格下落時の価格変動（縦軸:シミュレーション価格, 横軸:取引回, 赤帯: 期待価格下落期間）

### 3.4.4 指値注文によるショック時の価格変動

図 19 は、2.3.3 の設定で極端に安い指値注文によるショック時の価格変動を示している。

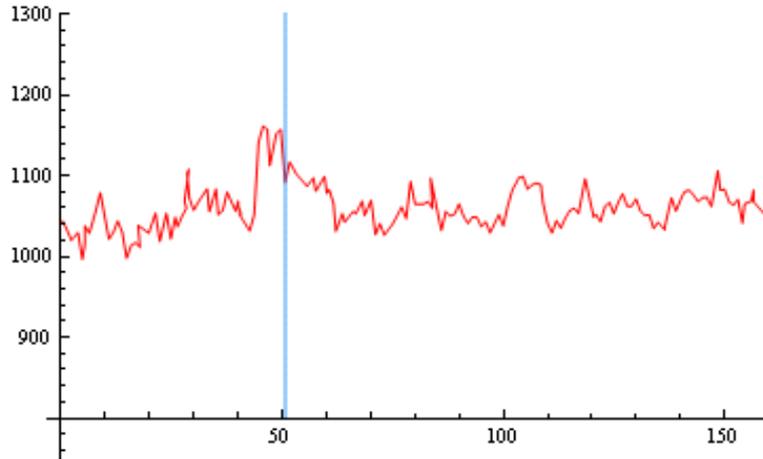


図 19: ネイキッド・ショート・セリングが禁止された市場での指値注文によるショック時の価格変動 (赤線:シミュレーション価格, 青縦線:指値注文によるショック, 縦軸:価格, 横軸:取引回)

シミュレーション価格は、ショックに大きく反応することなく、ショック後に下落が続くことがあってもショック前の価格から 10%以上の下落が 15 期間以上続くことはなかった。

## 3.5 2つの施策が導入された市場

2.3.1 と 2.3.2 の価格規制とネイキッド・ショート・セリングを禁止した 2 つ施策を同時に設定した市場でのシミュレーション結果を示す。

### 3.5.1 価格変動

図 20 はシミュレーション価格の変動 (10000 取引中の途中 1000 取引を抜粋) を示している。1 つの施策のみを導入した市場と比較し、全体的に期待価格を更に大きく上回り、価格は常に過大評価になりやすい傾向になる。

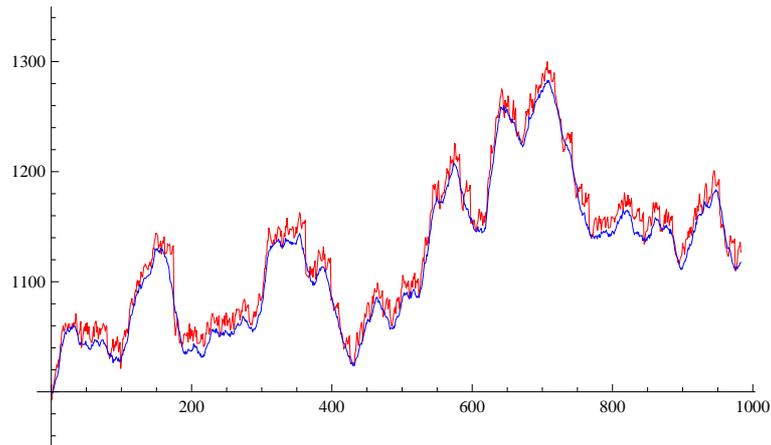


図 20: 2つの施策が導入された市場での価格変動 (赤線:シミュレーション価格, 青線:期待価格, 縦軸:価格, 横軸:取引回)

### 3.5.2 期待価格との乖離

図 21 は期待価格とシミュレーション価格の差 (10000 取引中の途中 1000 取引を抜粋) を、図 22 は価格の乖離 ((シミュレーション価格-期待価格) / シミュレーション価格) の分布を示している。期待価格とシミュレーション価格の乖離はほとんどが正の方向に大きく偏り、シミュレーション価格が過大評価になる傾向がかなり強くなる。

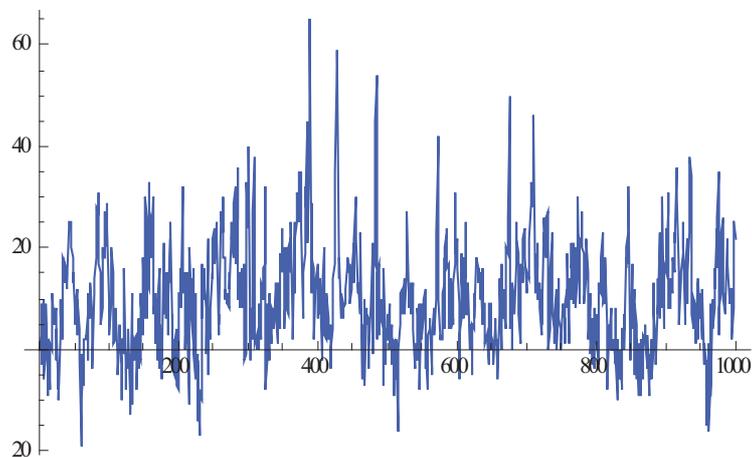


図 21: 2つの施策が導入された市場でのシミュレーション価格と期待価格との乖離 (シミュレーション価格-期待価格) (縦軸:価格差, 横軸:取引回)

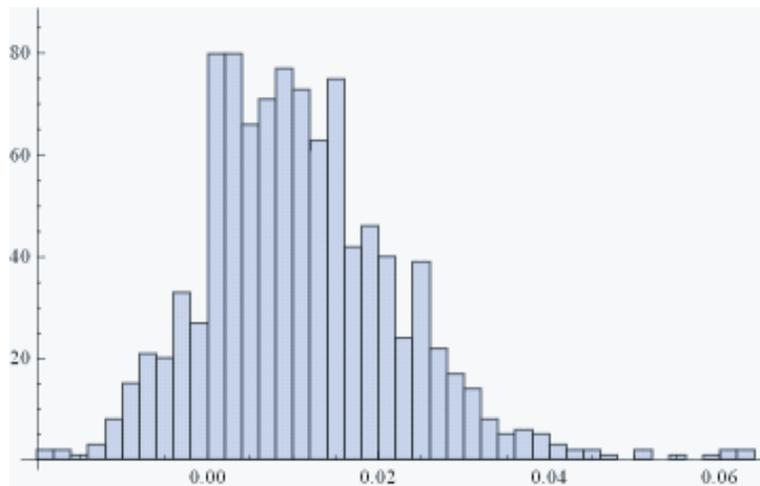


図 22: 2つの施策が導入された市場での乖離の頻度分布 (縦軸:頻度, 横軸:(シミュレーション価格-FV) / シミュレーション価格)

### 3.5.3 期待価格下落時の価格変動

図 23 は、2.3.3 の設定で期待価格が急激に下落したときの価格変動を示している。シミュレーション価格の大きな下落は期待価格の下落期間に見られ、下落が長期間に亘って継続するような変動はあまり観測されなかった。

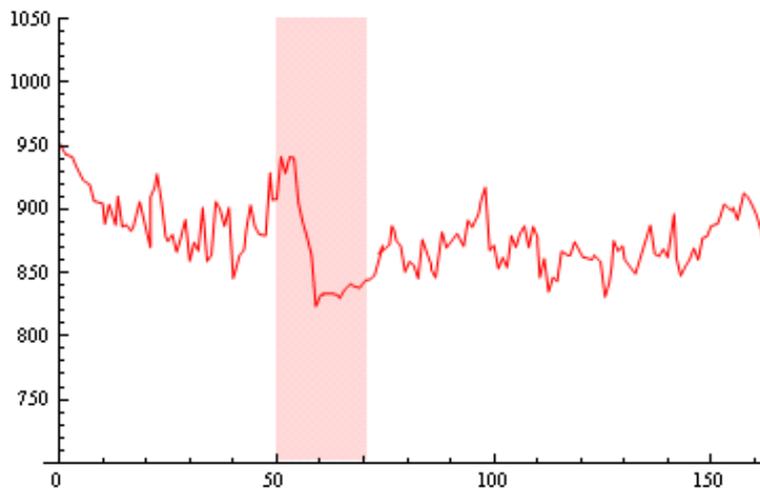


図 23: 2つの施策が導入された市場での期待価格下落時の価格変動 (縦軸:価格, 横軸:取引回, 赤帯: 期待価格下落期間)

### 3.5.4 指値注文によるショック時の価格変動

図 24 は、2.3.3 の設定で極端に安い指値注文によるショック時の価格変動を示している。

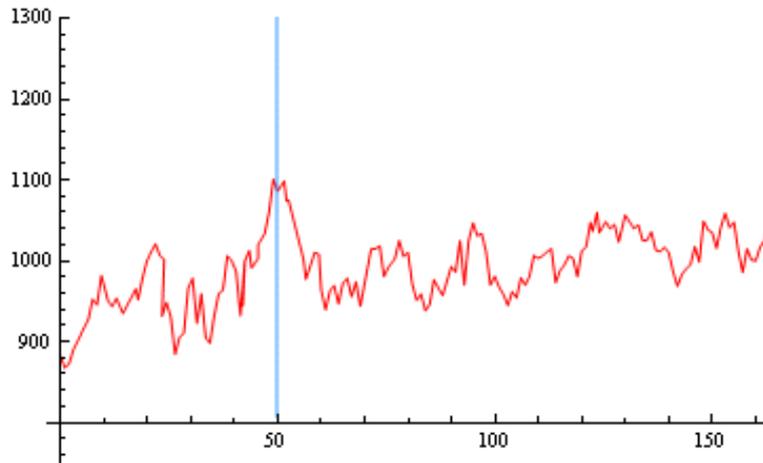


図 24: 2つの施策が導入された市場での指値注文によるショック時の価格変動（赤線:シミュレーション価格, 青縦線:指値注文によるショック, 縦軸:価格, 横軸:取引回）

シミュレーション価格は、数日に亘って下落するが長くは続かず、徐々に期待価格に収束した。

### 3.6 その他の比較

3つの各市場において、空売りの注文量とヒストリカル・ボラティリティについて比較を行った。表2は各市場について空売り注文量の平均と標準偏差を算出し、規制のない市場との比率を示したものである。

	価格規制	ネイキッド禁止	2つの施策
空売り注文量	53.6	69.8	51.9
標準偏差	8.1	7.9	8.7

表 2: 各市場での空売り注文量の比較

ネイキッド・ショート・セリングを禁止した場合、空売り注文量は規制のない市場に対して平均して69.8%まで減少した。これは、借株が不可能だった場合、空売り注文がキャンセルされるためである。価格規制がある市場の場合、空売り注文量は平均して53.6%まで減少した。価格下落時、現在の価格以上の指値の空売り注文が多くキャンセルされるなど、相場状況に左右される。

表3は、1000試行のヒストリカル・ボラティリティの平均である。

	規制なし	価格規制	ネイキッド禁止	2つの施策
HV	0.074	0.066	0.069	0.064

表 3: 各市場でのヒストリカルボラティリティの比較

規制のない市場ではボラティリティが最も高く、それに比較し規制のある市場ではボラティリティの減少が見られ、2つの施策を導入した市場ではボラティリティは最も低かった。空売り規制の導入によりボラティリティは減少し、市場のリスクが低減していると言える。

## 4 まとめ

本研究では、空売り規制の2つの施策（価格規制、ネイキッド・ショート・セリングの禁止）について、エージェントシミュレーション手法を用いて、その有効性を検証した。

### 4.1 考察

#### 価格規制のある市場

価格規制のある市場では、規制なしの市場に比較し、期待価格からの大きな乖離は減少し、ボラティリティもネイキッド・ショート・セリングを禁止した市場と比較してより減少した。また、価格上昇のピーク時に過大評価はあるものの、下落時の過小評価が比較的抑えられている。外生的なショックによる下落に対し、規制なし市場、ネイキッド・ショート・セリングを禁止した市場と比較して、シミュレーション価格の大きな反応は見られなかった。しかし、シミュレーション価格の下落が緩やかではある一方でその傾向がしばらく続き、ショックの影響がやや長い期間に亘る傾向がある。

#### ネイキッド・ショート・セリングを禁止した市場

ネイキッド・ショート・セリングを禁止した市場では、規制なしの市場に比較してボラティリティが減少した。シミュレーション価格は全体的に期待価格を上回り、価格は過大評価になる傾向があった。しかし、規制のない市場に比較し、価格下落のピーク時に期待価格を大きく下回る現象が減少し、過小評価の傾向が抑えられることがわかった。借株ができず売り注文を出すことができなかった場合や借株の買い戻しのための買い注文が価格を大きく下落することを抑制しているが、上昇傾向を生み出す原因となることもある。外生的なショックによる下落に対しては、シミュレーション価格がすぐに反応し即座に大きく下落することはないが、遅れて下落することがあった。しかし、ショックが長く影響することはなく、規制のない市場に比べて頑健性が高いと言える。

#### 2つの施策を導入した市場

2つの施策を同時に導入した市場では、価格が期待価格を全体的に大きく上回り、どちらかの施策のみを導入した市場と比較して価格変動のピーク時に過大評価が起こる傾向が更に強くなった。外生的なショックに対し、価格の大きな下落は主にショックの期間に見られ、長期間に亘って継続するような変動はほとんど観測されなかった。価格は比較的早く期待価格に収束し、外生的なショックに対する影響は最も少なかった。他の市場と比較してボラティリティが低くショックに対する頑健性も最も高いが、価格が過大評価になる傾向がかなり強くあらわれた。

規制のない市場に対して規制のある市場ではいずれも、価格の大きな下落は抑制されボラティリティが減少するなど市場のリスクは低下するが、価格が過大評価になりやすい傾向を示し、多くの先行研究 [3-7] と同様の結果となった。

ネイキッド・ショート・セリングを禁止した市場では、規制の効果の他に借株の買い戻しによる買い注文が価格変動に大きく影響しているものと思われる。価格規制と比較して外生的ショックによる価格の下落は長く続かず、ショック前の価格水準に早く戻るといった点は、買い戻しによる注文が価格の下落を抑制しているためと思われる。また、市場に貸株可能な株がなくなり借株ができなかった時には空売り注文が全くできなくなることや、場合によっては買い戻しのタイミングが頻繁になることが価格を押し上げる要因となっている。これらのことから、エージェントの注文の動向を分析することで価格変動の特徴をより詳細に考察する必要があると考える。

価格規制はネイキッド・ショート・セリングの禁止と比較するとやや弱いものの、価格の過大評価傾向が見られる。これはある一定の条件のもとで施策を導入することで緩和されるものと思われる。米国における Alternative Uptick Rule（直前の価格から10%下落した銘柄に適用される価格規制）[13]のような施策の検証が必要である。

## 4.2 今後の課題

モデルやシミュレーションの設定、分析項目に関しては以下の課題があり、今後は規制の有効性について更なる考察を行う予定である。

- エージェントの学習機能の追加
- 連続的な価格決定方式による市場
- 需給、信用倍率の参照と投資判断への反映
- 買い戻しのタイミングなどのエージェント行動やポジション推移等の詳細な分析
- 規制導入のタイミング、期間による比較検証
- 市場の流動性、効率性の指標による評価

その他に、水田ら [6] はバブル崩壊時や金融危機時などによる価格の急落時における規制・制度の検証の重要性を主張し、期待価格をシミュレーションの設定で外生的に発生させるだけでなく、シミュレーションで内生的に起こるメカニズムの考察の必要性を指摘している。これは本研究においても検討すべき重要な課題と考えている。

また、平成 25 年 3 月、金融庁より「空売り規制の総合的な見直し（案）」が公表され、現行の価格規制に対してトリガー方式への移行が提案されている [14]。この方式は、価格が一定の水準（前日終値から 10% 以上の下落）に達した有価証券に対して価格規制が適用されるという枠組みである。このような限定的な条件による措置は、大塚 [3] でも実証分析からその有効性が提案されており、本研究でも引き続きシミュレーションによる検証を行っている。

投稿日：2012 年 12 月 27 日

採択日：2013 年 2 月 18 日

## 参考文献

[1] 和泉潔 (2003) 「人工市場：市場分析の複雑系アプローチ」『森北出版』

- [2] 宇野淳・梅野淳也・室井理沙 (2009) 「日本株レンディング市場の実証分析－株券貸借モデルによる空売り規制効果の測定－」『証券アナリストジャーナル』, Vol. 47, No. 6, pp. 19-33
- [3] 大墳剛士 (2012) 「東証市場における空売りの実態及び空売り規制の影響」『東証ワーキングペーパー』, No. 1
- [4] 八木勲・水田孝信・和泉潔 (2011) 「人工市場を利用した空売り規制が与える株式市場への影響分析」『人工知能学会誌』, 26 巻, 1 号, pp. 208-216
- [5] Yagi, I., Mizuta, T. and Izumi, K.(2010), "A Study on the Effectiveness of Short-Selling Regulation in View of Regulation Period Using Artificial Markets," *Evolutionary and Institutional Economics Review*, Vol. 7, No. 1 pp.113-132
- [6] 水田孝信・和泉潔・八木勲・吉村 忍 (2012) 「人工市場を用いた値幅制限・空売り規制・アップティックルールの検証」『第9回 人工知能学会 ファイナンスにおける人工知能応用研究会』
- [7] Witte, B.C., and Kah, C.(2010), "Short Selling Constraints and their Effects on Market Efficiency: Insights from Agent-based Modeling", *Eastern Economic Association Annual Conference*,
- [8] Setzu, A. and MMarchesi, M.(2006), "The Effects of Short-Selling and Margin Trading: a Simulation Analysis," Discussion paper, CiteSeerX
- [9] Andersen, J.V.(2005), "Could Short Selling Make Financial Markets Tumble?", *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, vol. 08, issue 04, pp 509-521
- [10] 大井朋子 (2012) 「エージェントシミュレーションを用いた「価格規制」と「Naked Short Selling の禁止」の有効性に関する研究」『第9回 人工知能学会 ファイナンスにおける人工知能応用研究会』
- [11] 大井朋子 (2012) 「エージェントシミュレーションを用いた「価格規制」と「ネイキッド・ショート・セリングの禁止」の有効性の検証」『金融庁 平成24年度ディスカッションペーパー』, DP2012-5
- [12] Tversky, A. and Kahneman, D.(1974)"Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases," *Science, New Series*, Vol. 185, No. 4157., pp. 1124-1131.
- [13] U.S. Securities and Exchange Commission, "SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION: Amendments to Regulation SHO", 17 CFR PART 242, Release No. 34-61595; File No. S7-08-09, RIN 3235-AK35

[14] 金融庁 (2013) 「空売り規制の総合的な見直しについて (案)」  
(<http://www.fsa.go.jp/news/24/syouken/20130307-1/01.pdf>)



## 「エージェントシミュレーションを用いた「価格規制」と「ネイキッド・ショート・セリングの禁止」の有効性の検証」に対するコメント

明治学院大学経済学部教授

佐々木百合

近年、発達した人工知能の手法を他分野に応用する研究が盛んにおこなわれている。本稿はその人工知能の手法をファイナンスに応用して空売り規制の効果を分析しており、新規性に富み、興味深い内容となっている。具体的には、人工知能によって可能となったエージェントシミュレーション、すなわち、エージェント（経済主体）の行動をモデル化し、多数のエージェントの相互作用から、システム全体のマクロ的な影響を明らかにしていくという方法を利用して、規制があるときとないときを比較分析しているものである。この手法はすでに経済理論の検証や、経済政策の効果の検証を始め、今回のテーマである空売り規制に関しても応用実績があるが、本稿の分析は特にネイキッドショートセリングをモデル化し、これが規制されることを想定していること、ネイキッドショートセリング禁止と価格規制を同時に分析しているところに特徴がある。今後、より現実に近いシミュレーションが行われていく過程として、本稿の貢献は大きいといえる。

しかし、新しい試みであるがゆえに、まだ解決されるべき問題も残されている。例えば、ネイキッドショートセリング規制をモデル化するにあたり、そもそもこの規制がどのような効果をもたらしているかを詳しく分析し、レビューする必要がある。ネイキッドショートセリング規制は、簡単にいえば、売付けの際に株の手当てがなされていない空売りを規制するものである。この規制の大きな目的は、大量の空売りを制限することにあるので、本稿では主にこの規制による数量制限をモデル化している。しかし、借株が取引されるレンディング市場について調べると、借株の供給が少なくなってくると、いわゆる逆日歩が付くなど、コストが上昇する。つまり、レンディング市場の需給によって借株のコストも変化しており、実は数量制限だけではなく、コストが需給で動くことによって取引量が影響されているのである<sup>1</sup>。よって、より現実に近づけるためには、借株のコストが需給を反映するようにモデル化することが期待される。

---

<sup>1</sup> レンディング市場の分析については例えば宇野他（2009）がある。

もちろん、シミュレーションにつきものである問題として、モデルがシンプルすぎれば現実と乖離してしまうが、複雑すればいいというものでもない、ということがある。現実近づけようと様々な条件をモデルに盛り込んでも、それらの条件の相互の関係や、各条件の効き方の強弱までを再現するのは難しく、結果としてモデルが現実からかえって離れてしまったり、どの条件が結果に効いているかを見極めることができなったりする。

しかしそれだからこそ、如何に重要な要素だけを選定していくか、結果として現実との乖離が少なくなっているかどうか、という点について、先行文献を参考に、経済学的、あるいはマーケットや社会全体からみて慎重に吟味していくことが重要となる。本稿についても、ネイキッドショートセリング規制や価格規制そのものについての効果や経済学的、社会的な意味についての文献サーベイがもっとなされて、モデルの条件の根拠が明らかにされるとより説得的な論文になるのではないかと感じた。

なお、本稿では当初、「期待価格」を「ファンダメンタルバリュー」、「アービトラージャー」を「ファンダメンタリスト」と表記していたが、ファンダメンタルという用語は経済学における経済のファンダメンタルズを想像させるものであり、誤解を招く恐れがあるとの編集委員会によるコメントを受け修正された。この修正により、本稿の内容がより明確に伝わるようになったことは評価できる。

#### 参考文献

宇野淳，梅野淳也，室井理沙(2009) 「日本株レンディング市場の実証分析－株券貸借モデルによる空売り規制効果の測定－」 証券アナリストジャーナル Vol. 47, No. 6, pp. 19-33

八木勲，水田孝信，和泉潔(2011) 「人工市場を利用した空売り規制が与える株式市場への影響分析」 人工知能学会誌，26 巻，1 号，pp. 208-216